



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 41 544 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 04 R 19/02**

⑳ Aktenzeichen: P 40 41 544.9  
㉑ Anmeldetag: 22. 12. 90  
㉒ Offenlegungstag: 25. 6. 92

DE 40 41 544 A 1

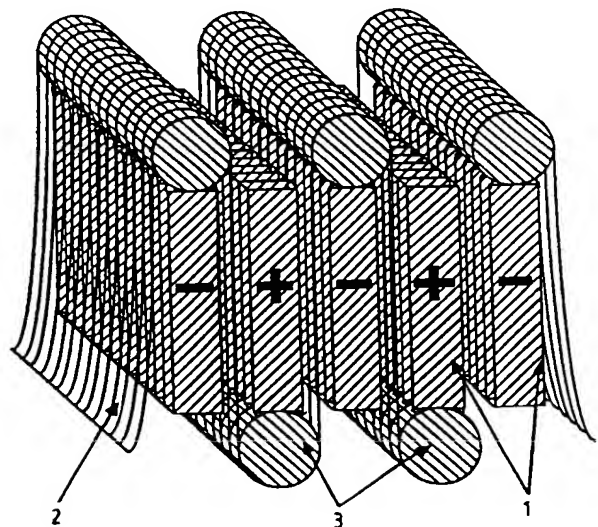
⑦1 Anmelder:  
Mivoc Audio-Systeme Michael von Keitz, 5650  
Solingen, DE

⑦4 Vertreter:  
Dahlke, W., Dipl.-Ing.; Lippert, H., Dipl.-Ing.;  
Stachow, E., Dipl.-Phys. Prof. Dr.rer.nat., 5060  
Bergisch Gladbach; Tackenberg, K., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 5650 Solingen

⑦2 Erfinder:  
Jansen, Michael, 5090 Leverkusen, DE

⑤4 **Elektrostatischer Lautsprecher**

⑤7 Ein elektrostatischer Lautsprecher mit Festelektroden (1) und einer mit Hilfe von Abstandshalteinrichtungen (3) zwischen den Festelektroden (1) angeordneten Membran (2) weist zur Verbesserung der akustischen und elektrischen Eigenschaften bei einer großen Membranfläche auf kleinem Raum eine Reihe von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden (1) auf, wobei sich die Membran (2) mittig zwischen den gegenüberliegenden flachen Seiten von je zwei benachbarten Festelektroden (1) erstreckt.



DE 40 41 544 A 1

Die Erfindung betrifft einen elektrostatischen Lautsprecher mit einer Reihe von in einem Lautsprechergehäuse feststehend angeordneten Elektroden (Festelektroden) wechselnder Polarität und einer sich jeweils zwischen zwei benachbarten Festelektroden unterschiedlicher Polarität erstreckenden Membran, wobei jeder Festelektrode eine Abstandshalteeinrichtung zugeordnet ist.

Ein elektrostatischer Lautsprecher der genannten Art ist aus der DE 31 18 239 C1 bekannt.

Der in dieser Druckschrift beschriebene elektrostatische Lautsprecher weist zwei übereinanderliegende Reihen aus rohrförmigen Metallstäben als Festelektroden auf, wobei jeder Metallstab der unteren Reihe unterhalb des Zwischenraumes zwischen zwei Metallstäben der oberen Reihe angeordnet ist. Durch eine abwechselnde Führung der Membran um die Metallstäbe der beiden Reihen ergibt sich eine mäanderförmige Anordnung der Membran. Diese wird durch eine Abstandshalteeinrichtung zwischen der Membran und dem jeweiligen Metallstab in Position gebracht.

Bei diesem bekannten elektrostatischen Lautsprecher handelt es sich um eine Weiterentwicklung des "klassischen" Elektrostaten, der zwei in einem Lautsprechergehäuse feststehend angeordnete, schalldurchlässige Gegenelektroden mit einer zwischen diesen angespannten Membran aufweist. Die Gegenelektroden des "klassischen" Elektrostaten sind gewöhnlich plattenförmig ausgebildet und weisen zum Schalldurchtritt eine Vielzahl von Löchern auf. Bei der in der obigen Druckschrift beschriebenen Weiterentwicklung werden die plattenförmigen Gegenelektroden durch die beiden Reihen aus rohrförmigen Metallstäben ersetzt. Die Zwischenräume zwischen den Metallstäben einer Reihe bilden dabei die zum Schalldurchtritt erforderlichen Öffnungen.

Aufgrund der beiden, jeweils aus einer Reihe von Metallstäben bestehenden Gegenelektroden ist eine variable Formgebung der Lautsprechereinheit möglich. Durch die mäanderförmige Membranführung um die Metallstäbe ergibt sich gegenüber dem "klassischen" Elektrostaten bei gegebener Lautsprecherbreite und -höhe eine größere effektive Membranfläche, die akustische Vorteile mit sich bringt. Weiterhin wird aufgrund der auf jedem Metallstab angeordneten Abstandshalteeinrichtung die über jeden einzelnen Metallstab abschnittsweise herumgeführte Membran immer in einem Abstand von dem Metallstab gehalten, so daß bei einem Nachlassen der Spannung der Membran diese nicht von den Gegenelektroden angezogen werden kann. Diese Konstruktion hat den Vorteil, daß Kurzschlüsse vermieden werden, die immer dann auftreten können, wenn es zu einer Berührung zwischen der Membran und der Gegenelektrode kommt.

Der aus der obigen Druckschrift bekannte elektrostatische Lautsprecher weist jedoch die beiden folgenden Nachteile auf.

Aufgrund der Elektrodenanordnung ergibt sich ein inhomogenes elektrisches Feld, daß in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Feldstärken aufweist. Dadurch wirkt an verschiedenen Punkten der Membran eine unterschiedliche Kraft. Da sich die Feldstärke, zumindest im Außenbereich der Elektroden, nicht linear mit der Entfernung von den Elektroden ändert, ergeben sich nichtlineare Antriebsverhältnisse für die Membran. Des weiteren sind auch die Rückstellkräfte der "Mem-

branaufhängung", gegeben durch die Form der Membran, in beiden Bewegungsrichtungen der Membran unterschiedlich.

Durch die Überlagerung der Nichtlinearitäten des elektrischen Kraftfeldes und der Rückstellkräfte der Membranaufhängung in gleicher Weise sind hohe Verzerrungen 2. Ordnung zu erwarten.

Frequenzgangmessungen lassen erkennen, daß die Membran insbesondere bei Frequenzen, deren Wellenlängen kleiner sind als die Dimensionen der Abstrahlfläche, nicht mehr als Ganzes, also gleichphasig schwingt sondern in sich "aufbricht" und so zu Partialschwingungen neigt. Für das Auftreten dieser Partialschwingungen sind sowohl die erwähnten Nichtlinearitäten als auch die durch die Inhomogenität des elektrischen Feldes verursachte unterschiedliche Kraftwirkung an verschiedenen Punkten der Membran ursächlich.

Bei schwach gespannter Membran besteht die Gefahr, daß die Folie sich von den auf den Metallstäben angeordneten Abstandshalteeinrichtungen abhebt und an diese anschlägt. Diese Gefahr läßt sich nur dadurch beseitigen, daß die Membran mit den Abstandshalteeinrichtungen fest verbunden ist. Außerdem kann die um die Metallstäbe gelegte, stark gekrümmte Membran bei ihrer radialen Bewegung leicht an den Abstandshalteeinrichtungen einknicken und damit Partialschwingungen verursachen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektrostatischen Lautsprecher der eingangs genannten Art zu schaffen, der bei kleinen Abmessungen eine große effektive Membranfläche aufweist und darüber hinaus sich durch einen über die gesamte Membranfläche gleichmäßigen Antrieb unter Vermeidung von Partialschwingungen auszeichnet.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Reihe von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden vorgesehen ist, wobei sich die Membran mittig zwischen den gegenüberliegenden flachen Seiten von je zwei benachbarten Festelektroden erstreckt.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Konstruktion verläuft die Membran über große Abschnitte in einem homogenen elektrostatischen Feld. Dementsprechend ergeben sich hier, abgesehen von den Ränder der Festelektroden, lineare Kräfteverhältnisse, die einen im wesentlichen über die gesamte Membranfläche gleichmäßigen Antrieb gewährleisten. Den flachen Festelektroden sind Abstandshalteeinrichtungen zugeordnet, die die Membran mittig zwischen den Festelektroden positionieren. Die Aneinanderreihung der flachen, parallel zueinander angeordneten Festelektroden schafft eine große effektive Membranfläche bei kleinen Abmessungen des Lautsprechers.

Bei dem erfindungsgemäßen elektrostatischen Lautsprecher entsteht die Schallabstrahlung durch die aufgrund der Membranbewegung zwischen den Festelektroden und den Membranabschnitten herausbewegte Luft.

Die Breite bzw. Tiefe der Festelektroden kann in der Anordnung konstant gehalten sein. Sie kann jedoch auch variieren, um eine besondere Schallabstrahlung zu erreichen.

Die flachen Festelektroden sind, wie auch die bisher bekannten Gegenelektroden eines elektrostatischen Lautsprechers, mit einer elektrischen Isolationschicht, zum Beispiel einem Isolationslack, versehen, um Entladungsvorgängen zwischen der Membran und den Elektroden entgegenzuwirken.

Die Membran kann, wie durch den Stand der Technik bekannt, aus einer mit Metall bedampften Kunststoffolie bestehen.

In einer bevorzugten Ausbildung ist die Membran durch eine Spannvorrichtung vorgespannt. Aufgrund der Vorspannung erhält die Membran eine definierte Aufhängungssteifigkeit, so daß ein Anschlagen der Membran an die Elektroden vermieden werden kann. Dementsprechend kann der Abstand zwischen den flachen Festelektroden in Abhängigkeit von der Aufhängungssteifigkeit auf ein Maß reduziert werden, so daß sich die Polarisationsspannung und damit der Wirkungsgrad erhöhen.

In einfachster Ausführung können die Festelektroden in Form von flachen Quadraten ausgebildet sein.

Die Festelektroden können aus Metall bestehen. Andererseits können sie aber auch aus leitendem Kunststoff gefertigt und zum Beispiel durch Spritzen oder Verpressen in die gewünschte Form verbracht sein.

Die Festelektroden können weiterhin in Modulbauweise maschinell gefertigt sein. Die Herstellung der Elektrodenanordnung in kleineren Einheiten ermöglicht eine Verminderung der Fertigungskosten und eine einfache Montage der Lautsprecher.

Die Abstandshalteeinrichtung ist bevorzugt an jeweils einer Schmalseite einer Festelektrode angeordnet, so daß die Abstandshalteeinrichtungen zweier benachbarten Festelektroden sich an entgegengesetzten Schmalseiten befinden.

So können die Abstandshalteeinrichtungen zylinderförmig ausgebildet sein und sich längs der jeweiligen Schmalseite der betreffenden Festelektrode erstrecken. Der Durchmesser der zylinderförmigen Abstandshalteeinrichtungen ist dann gleich der Summe aus der Dicke der Festelektroden und deren Abstand voneinander, so daß die Membran beim Durchziehen zwischen jeweils zwei Festelektroden eine genau mittige Position bekommt.

Die Abstandshalteeinrichtungen können andererseits auch einen halbkreisförmigen oder einen anderen geeigneten Querschnitt aufweisen.

Die Abstandshalteeinrichtungen können mit den Festelektroden verklebt oder an diesen auf andere Weise befestigt sein. Sie können auch an die Festelektroden einstückig angeformt sein. Andererseits können sie auch am Rahmen der Anordnung befestigt sein.

Zur weiteren Vergrößerung der effektiven Membranfläche ist es zweckmäßig, mehrere Reihen von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden als mehrere "Module" zusammenzuschalten. Eine möglichst große Membranfläche ist wünschenswert, um insbesondere auch tiefe Frequenzen bei angemessenem Schalldruck mit dem erfindungsgemäßen elektrostatischen Lautsprecher wiedergeben zu können.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben. Es zeigt

**Fig. 1** eine perspektivische Teilansicht der Elektroden-Membrananordnung des elektrostatischen Lautsprechers, wobei die Membran transparent gezeichnet ist,

**Fig. 2** eine seitliche Teilansicht des Elektrodenaufbaus mit eingezeichnetem Feldlinienverlauf,

**Fig. 3** eine seitliche Teilansicht zur Erläuterung der Funktionsweise des elektrostatischen Lautsprechers,

**Fig. 4** eine Vorderansicht des elektrostatischen Lautsprechers und

**Fig. 5** einen Querschnitt durch den elektrostatischen

Lautsprecher.

Wie insbesondere aus **Fig. 1** hervorgeht, besteht die Elektroden-Membrananordnung des elektrostatischen Lautsprechers aus einer Reihe von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden 1 wechselnder Polarität und einer sich mittig zwischen den gegenüberliegenden flachen Seiten von je zwei benachbarten Festelektroden 1 erstreckenden Membran 2. Die mittige Anordnung der Membran 2 zwischen den Festelektroden 1 wird durch Abstandshalteeinrichtungen 3 erreicht, die auf den Festelektroden 1 angeordnet sind.

Die Festelektroden 1 sind in Form von flachen Quadraten ausgebildet und aus Metall, zum Beispiel aus Aluminium, gefertigt. Sie können in einer anderen Ausführung auch aus elektrisch leitendem Kunststoff, zum Beispiel durch Spritzen oder Verpressen und insbesondere in Modulbauweise hergestellt sein. Sie sind an ihrer Oberfläche mit einem elektrischen Isolationslack versehen.

Die elektrisch isolierte Abstandshalteeinrichtung 3 ist jeweils an einer Schmalseite einer Festelektrode 1 angeordnet und als Rundholz ausgebildet. Die Abstandshalteeinrichtungen 3 sind mit den Festelektroden 1 verklebt. Die Abstandshalteeinrichtungen 3 sind weiterhin mit Epoxydkleber an den beiden Seitenteilen 4 (Fig. 5) fixiert.

Zweckmäßigerweise nach dem Verkleben sämtlicher Abstandshalteeinrichtungen 3 wird die Membran 2 durch die Elektroden-Abstandshalteranordnung durchgeschleift. In dem betrachteten Ausführungsbeispiel wird sie an ihren beiden Enden mit Hilfe von Spannvorrichtungen 5, die an den beiden Seitenteilen 4 angeordnet sind, vorgespannt. Die Membran 2 besteht aus einer mit Metall bedampften, zum Beispiel 20 µm starken Polyesterfolie.

Wie aus **Fig. 2** zu erkennen ist, befindet sich zwischen den Festelektroden 1 ein homogenes elektrisches Feld, durch das sich mittig die Membran 2 erstreckt. Daher unterliegt die Membran 2 einem linearen und im wesentlichen über die ganze Membranfläche gleichmäßigen Antrieb.

**Fig. 3** erläutert die Funktionsweise des elektrostatischen Lautsprechers.

Legt man an die Membran 2 eine Polarisationsspannung mit positivem Potential an und verbindet die Festelektroden mit dem hoch transformierten Tonsignal, so erhält man den zur Zeit  $t$  "eingefrorenen" Bewegungszustand der Membran. Zur Zeit  $t$  soll die positive Halbwelle der Eingangsspannung an den Festelektroden E1, E3 bzw. die negative Halbwelle an der Festelektrode E2 anliegen. Damit werden die positiv geladenen Membranabschnitte von E1 bzw. E3 abgestossen und gleichzeitig von E2 angezogen. Es ergibt sich also eine Membranbewegung, wie sie durch die in **Fig. 3** eingezeichneten dicken Pfeile gekennzeichnet ist. Die Schallabstrahlung erfolgt durch die zwischen der Festelektrode E2 und den Membranabschnitten herausbewegte Luft.

Die **Fig. 4** und **5** zeigen einen elektrostatischen Lautsprecher in Vorderansicht bzw. im Querschnitt. Bei diesem Lautsprecher betragen die Abmessungen der effektiven Abstrahlfläche ca. 17 cm × 10 cm. Durch die Membranführung hat die Membran 2 jedoch eine Membranfläche von ungefähr 105 cm × 10 cm. Es ergibt sich also gegenüber der effektiven Abstrahlfläche eine um ca. das 6fache vergrößerte Membranfläche.

Eine weitere Vergrößerung der Membranfläche kann

dadurch erreicht werden, daß mehrere "Module" des dargestellten elektrostatischen Lautsprechers zusammengeschaltet werden. Auf diese Weise lassen sich insbesondere auch tiefe Frequenzen bei angemessenem Schalldruck wiedergeben.

5

#### Bezugszeichenliste

1 Festelektrode  
 2 Membran  
 3 Abstandshalteeinrichtung  
 4 Seitenteil  
 5 Spannvorrichtung  
 E1 Festelektrode  
 E2 Festelektrode  
 E3 Festelektrode

10

15

#### Patentansprüche

1. Elektrostatischer Lautsprecher mit einer Reihe von in einem Lautsprechergehäuse feststehend angeordneten Elektroden (Festelektroden) wechselnder Polarität und einer sich jeweils zwischen zwei benachbarten Festelektroden unterschiedlicher Polarität erstreckenden Membran, wobei jeder Festelektrode eine Abstandshalteeinrichtung zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Reihe von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden (1, E1, E2, E3) vorgesehen ist, wobei sich die Membran (2) mittig zwischen den gegenüberliegenden flachen Seiten von je zwei benachbarten Festelektroden (1 bzw. E1, E2, E3) erstreckt. 20
2. Elektrostatischer Lautsprecher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran (2) durch eine Spannvorrichtung (5) vorgespannt ist. 25
3. Elektrostatischer Lautsprecher, nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Festelektroden (1, E1, E2, E3) in Form von flachen Quadern ausgebildet sind. 30
4. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Festelektroden (1, E1, E2, E3) aus Metall gefertigt sind. 35
5. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Festelektroden aus leitendem Kunststoff gefertigt und zum Beispiel durch Spritzen oder Verpressen in die gewünschte Form gebracht sind. 40
6. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Festelektroden in Modulbauweise maschinell gefertigt sind. 45
7. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalteeinrichtung (3) an jeweils einer Schmalseite einer Festelektrode (1, E1, E2, E3) angeordnet ist, so daß die Abstandshalteeinrichtungen (3) zweier benachbarter Festelektroden (1 bzw. E1, E2, E3) sich an entgegengesetzten Schmalseiten befinden. 50
8. Elektrostatischer Lautsprecher nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalteeinrichtungen (3) einen kreis- oder halbkreisförmigen Querschnitt aufweisen und sich längs der jeweiligen Schmalseite der betreffenden Festelektrode (1 bzw. E1, E2, E3) erstrecken. 55
9. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der

Ansprüche 1 – 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalteeinrichtungen (3) mit den Festelektroden (1, E1, E2, E3) verklebt sind.

10. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalteeinrichtungen an die Festelektroden einstückig angeformt sind.

11. Elektrostatischer Lautsprecher nach einem der Ansprüche 1 – 10, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Reihen von flachen, parallel zueinander und linear angeordneten Festelektroden zusammengeschaltet sind.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

— Leerseite —

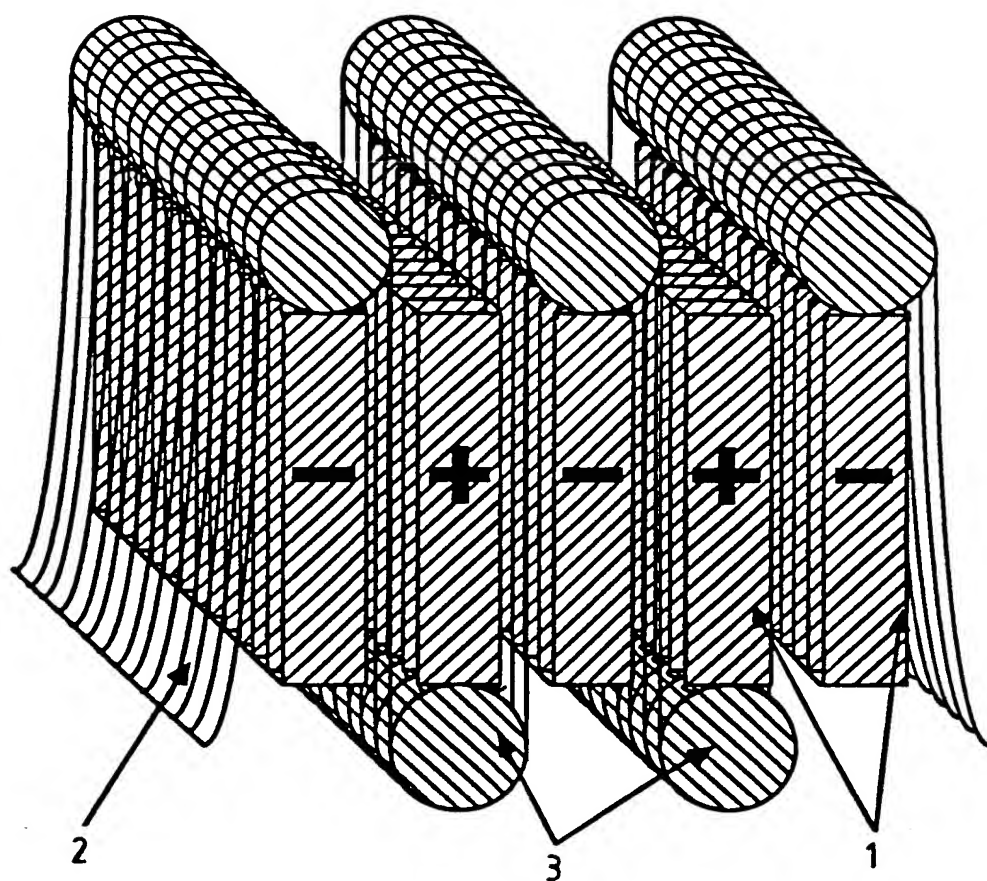


Fig. 2

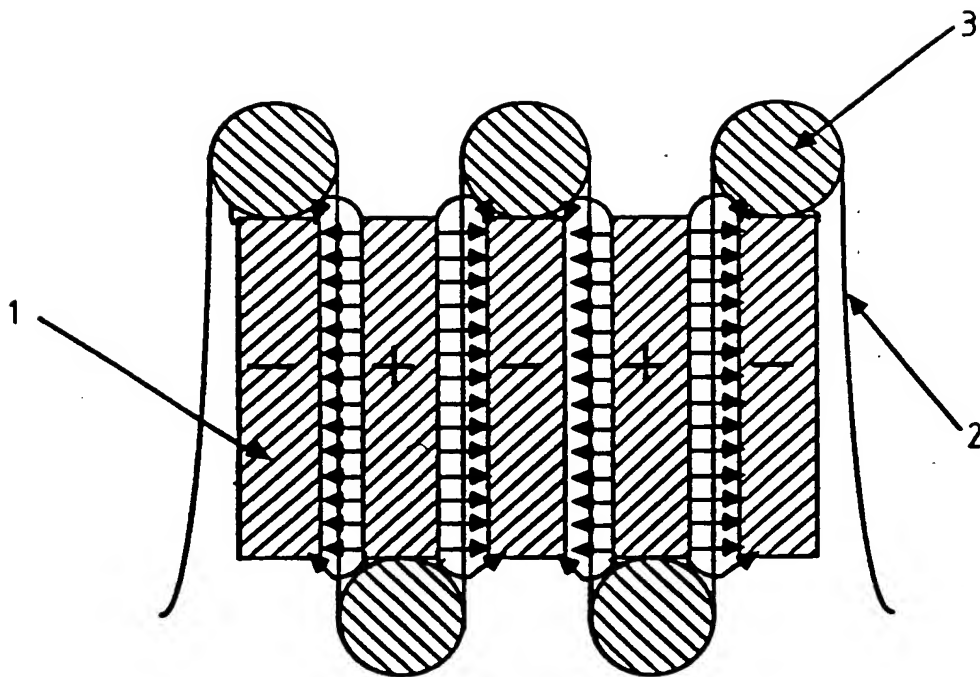


Fig. 3

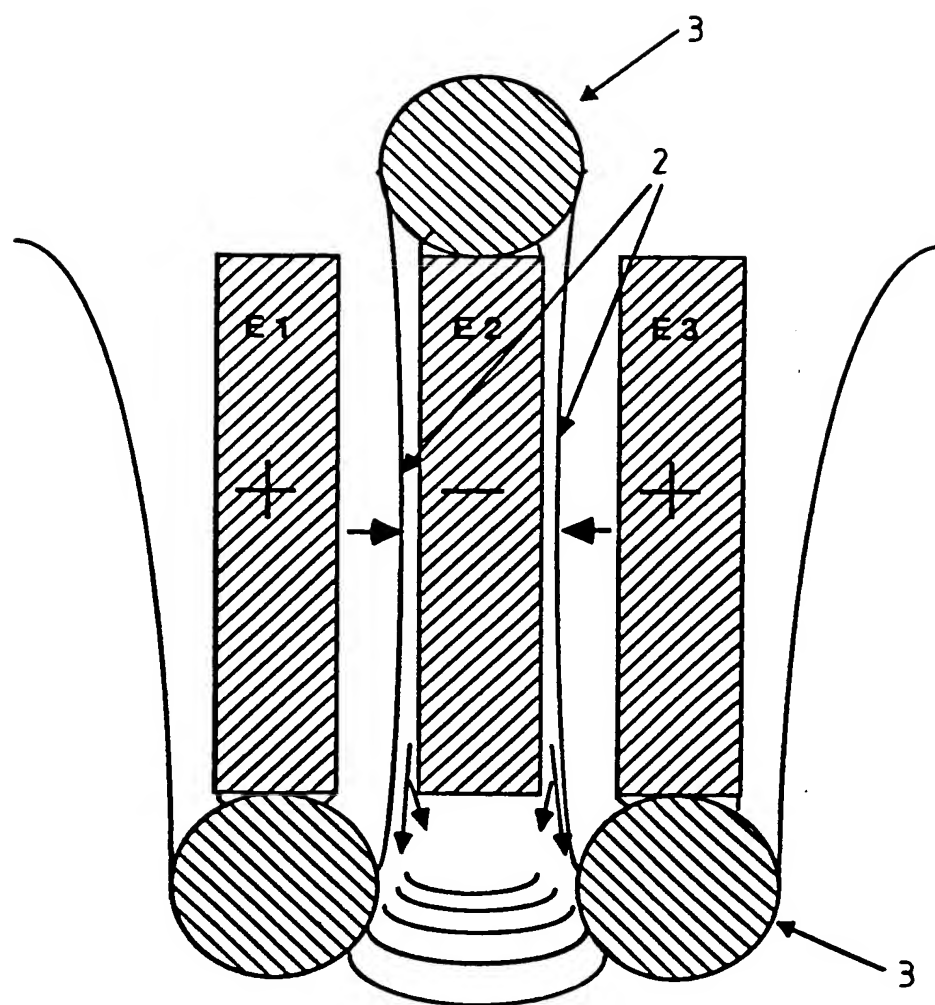




Fig. 4

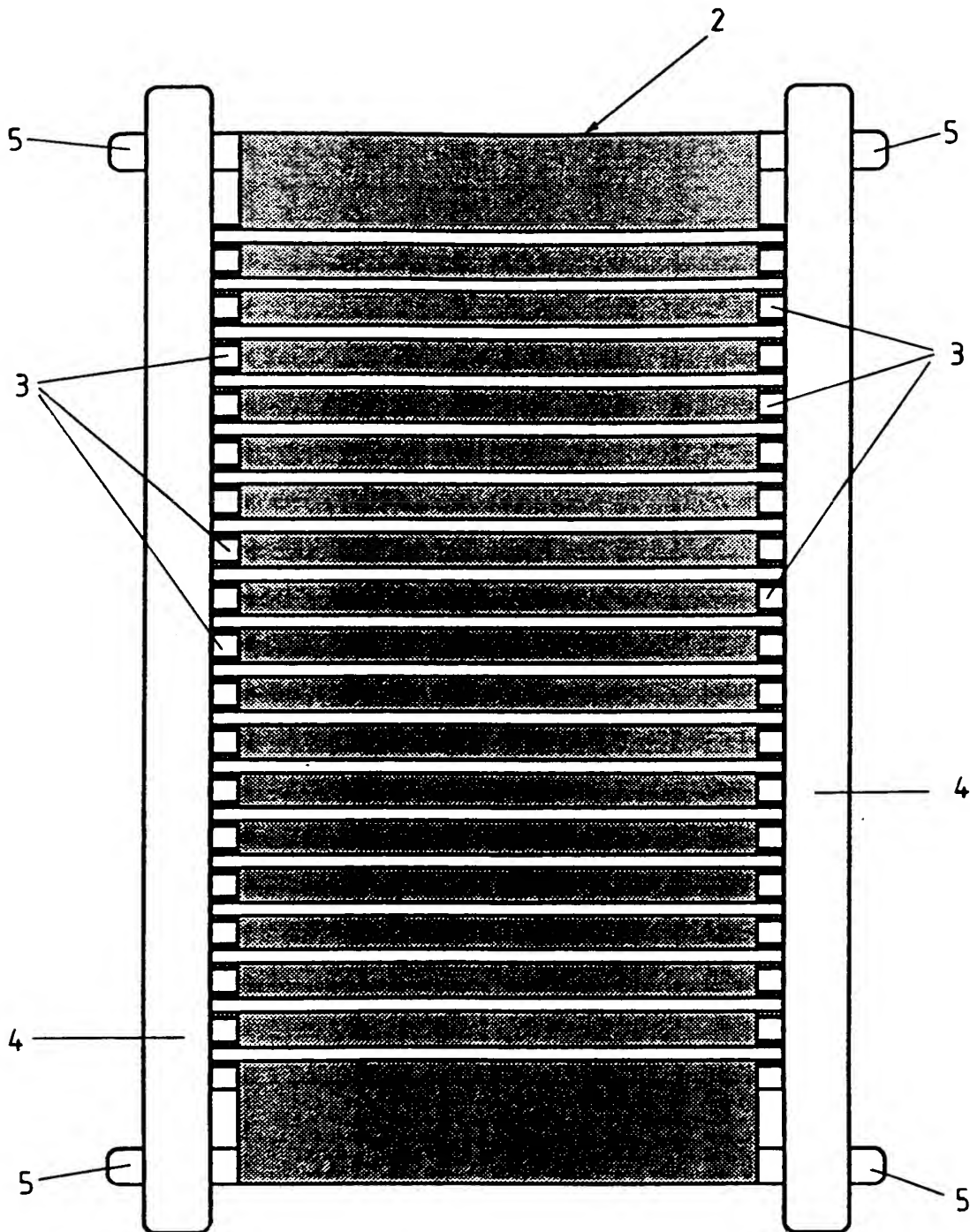


Fig. 5

